Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Mittheilungen der Erdbeben-Commission der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien.

XX.

Über die Beziehungen zwischen Erdbeben und Detonationen

von

J. Knett.

(Mit 3 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 5. Juli 1900.)

Erdbeben.

Bekanntlich haben aufmerksame Beobachter schon frühzeitig die Thatsache erkannt, dass dem eigentlichen Erbeben ein schwaches Zittern, ein rasches Auf- und Abschwingen des Bodens vorangeht.

Diese verticalen Vibrationen, welche man in neuerer Zeit insbesonders mit Hilfe geistreich construierter Seismographen (Horizontalpendel) zu verzeichnen vermag, sind die ausgehenden Äußerungen (wie man früher annahm) normal schwingender, longitudinaler Wellen von großer Schwingungszahl, kurzer Schwingungsdauer, kleiner Schwingungsweite, großer Elongation und ansehnlicher, etwa 10 *km* pro Secunde betragender Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Diese voraneilenden raschen Wellen, welche vom Herde weg durch die Erdkruste bis zur Oberfläche verlaufen, setzen sich hier in kurzperiodische Wellen um, wodurch das Vibrieren des Bodens entsteht, was einer geleisteten Arbeit gleichkommt. Ein anderer Theil hat sich bereits unterwegs in Schall umgesetzt(?), der denn auch als »Erdbebengeräusch« zugleich mit den Vibrationen wahr-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

genommen wird.[1] Es sind auch Fälle bekannt, wo die »voraneilenden Tremors« nicht gefühlt, wohl aber das mit denselben gleichzeitig eingelangte Geräusch gehört wurde. Diesen Vorboten schon im Boden nachhinkend, verläuft die Hauptphase der Erdbeben als (ehedem transversal schwingend gedachte) Wellen von entgegengesetztem Charakter, mit großer Amplitude und Schwingungsdauer und bedeutend geringerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit: $2^1/_2$ bis 3 *km*. Dennoch treffen verhältnismäßig schnell der Reihe nach Schwingungen mit wachsender Amplitude an der Erdoberfläche ein, bewirken dort die Haupterscheinung, die mehr oder weniger starke Erschütterung, indem sie sich zum größten Theile in eine rasch steigernde und dann allmählich ausklingende, wogende Bewegung des Bodens umsetzen.

Die Größe der Amplitude einer jeden der beiden Wellenarten muss mit zunehmender Entfernung wohl eine größere Verminderung erleiden, als dies die theoretische Formel zum Ausdrucke bringt; jeder Gesteinswechsel, jede noch so zarte Klüftung wird ein gewisses Maß der Intensität der seismischen Wellen absorbieren, verbrauchen.

Prof. Rudzki[2] hat gezeigt, dass die seismischen Wellen nicht rein longitudinal oder transversal schwingen, wie dies manche Forscher angenommen haben, sondern dass es zugleich dilatational und torsional schwingende Wellen sind, soferne nicht gerade ein isotropes, sondern z. B. einaxig, doppelbrechendes Medium in Betracht gezogen wird.

Die getrennte Fortpflanzung longitudinaler und transversaler Schwingungen würde nur für isotrope Medien gelten; aber gerade die von Erdbebenwellen durchwanderten entsprechen dieser Voraussetzung nicht. Wohl dürfen wir mit Rücksicht auf die große Wellenlänge — mehrere hundert Meter — die geschichteten Gebirgsarten (Gneiß, Sandstein...) als homogen,

---

[1] Es würde indes der Annahme, dass das Geräusch primärer Entstehung ist und nichts anderes darstellt, als etwa die neben der hauptsächlich seismischen Erregung noch entstandene akustische, eine gewisse Wahrscheinlichkeit nicht abgesprochen werden können. Darauf wird noch zurückzukommen sein.

[2] M. P. Rudzki, Von der Gestalt elastischer Wellen in Gesteinen. — Gerlands Beiträge zur Geophysik, III. Bd., 4. H. (Leipzig, 1898).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

aber nicht als isotrope Medien betrachten. Das Orientiertsein der einzelnen Theilchen in den krystallinischen Schiefergesteinen und die Schichtung sedimentärer Gebilde einerseits, dann die nach oben hin im allgemeinen abnehmende Dichtigkeit der Erdkruste infolge verringerten Gebirgsdruckes und überhandnehmender Zerklüftung und Zersetzung anderseits bedingen bis zu einem gewissen Grade den Anisotropismus der Erdbebenmedien.

In einem solchen Medium aber muss ein einziger vom Erdbebenherde ausgegangener Impuls als eine Reihe von Stößen[1] empfunden werden, deren Anzahl in einem bestimmten Punkte (dieses Mediums) abhängig ist von der Lage desselben gegen den Herd der Störung und die Richtung der Symmetrieaxe des Mediums, von den Relativwerten der Elasticitätsconstanten. Der letztere Factor bedingt insgesammt vorzugsweise die Gestalt der seismischen Wellenflächen selbst, die Rudzki als rotationsellipsoidisch und compliciert mehrlappig bezeichnet. Zweiaxig-doppelbrechende Medien würden noch verwickeltere Verhältnisse aufweisen können.

Die Ausführungen des genannten Autors gelten ganz im allgemeinen und daher, wie ich glaube, nicht bloß für die Hauptphase selbst, sondern auch für die Vorboten.

Die Sache ist an sich wichtig genug, aber auch bezüglich der Frage, ob und inwieweit in einseitig gepressten Massen- oder Faltengebirgen Doppelbrechung, beziehungsweise Polarisation der Stoßstrahlen stattfindet, und es wäre daher wünschenswert, wenn dieses Problem nicht aus dem Auge gelassen würde.

Wir behalten für unseren Zweck die reine Kugelform der Hauptbebenwelle im Gedächtnisse, wie sie für isotrope Medien gilt. Ihre erdoberflächliche Äußerung ist wohl in ihrem Wesen, in rein physikalischer Beziehung ähnlich der der voraneilenden Wellen, in ihrer Wirkung aber von diesen wesentlich verschieden. Das langsame Auf- und Abschwingen des Bodens, vorzüglich im epicentralen Gebiete, die wogende, undulatorische Bewegung, ist der des Centrums eines durch einen

---

[1] Ihr schnelles Aufeinanderfolgen macht es erklärlich, dass ihre Gesammtheit als einziger Schlag oder als eine Erschütterung verspürt wird.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Steinwurf erregten Wasserspiegels direct vergleichbar, sofern man den Ausschlag der Bebenwelle an der Oberfläche für diese selbst als Impuls betrachtet.[1] Und so wie bei der afficierten Wasseroberfläche die einzelnen Theilchen nur eine hebende und senkende, bloß scheinbar fortlaufende Bewegung vollführen, jeder Wellenring nur eine gesetzmäßige Gleichgewichtsstörung darstellt, die zur unmittelbaren Veranlassung des nächsten wird, so hat dies auch für die Erdoberfläche, aber wegen der geringen Verschiebbarkeit der einzelnen Theilchen nur beschränkte Geltung. Die Cohäsionskräfte gewinnen bald die Oberhand über die rasch abnehmende Energie dieser Bewegungsart, wenn es nicht schon vorher durch Überschreitung der Elasticitätsgrenze des Bodens zu einer anderen Arbeitsleistung, zur Bildung localer Dislocationen gekommen ist.

Alle Gegenstände auf der Erdoberfläche, so insbesonders Gebäude, Bäume etc. machen die Oberflächenbewegung gleichsam als umgekehrte Pendel mit. Von den sicherlich bestehenden Interferenzerscheinungen sehen wir ganz ab.

Etwa vom Umkreise des pleistoseisten Gürtels an (bei diffuser oder vertical-pulsiver Erregungsart), noch mehr aber bei lateral-aufstoßenden Impulsen besteht sogar die Möglichkeit einer wahren »transversal fortschreitenden Wellung« durch die horizontale Componente dieser Stoßstrahlen, welche theoretisch ähnlich wirken müsste, als würde man eine Wasserfläche mit einem Ruder peitschen.

Diese Oberflächenbewegung ist die eine Äußerungsweise der Hauptphase des Erdbebens; eine zweite ist die Art, wie sie sich bei losen oder nicht fest mit dem Boden (Fels) verbundenen Gegenständen kundgibt, sonderlich wenn große Intensität vorliegt. Hier besteht die geleistete Arbeit in dem Abstoßen beweglicher Gegenstände von der Erdoberfläche, so wie, um ein öfter gebrauchtes Beispiel flüchtig zu erwähnen, die letzte einer Reihe von Kugeln den Ausschlag zeigt, den man der ersten als Stoß übertragen hat. Desintegriertes Material geräth

---

[1] Der Vergleich hinkt indes bekanntlich, wenn man ihn mit dem Gesammtverlaufe eines Erdbebens in Beziehung bringt, indem bei dem Wasserspiegel Herd und Epicentrum zusammenfallen, kurz die Herdtiefe gleich Null ist u. s. w.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in hüpfende Bewegung,[1] Wasser aus Brunnen, Leichen aus Gräbern werden ausgeworfen, im schlimmsten Falle kommt es zum Emporschleudern von Pflastersteinen, Dächern und selbst zum förmlichen verticalen Auseinanderreißen von Gebäuden.

Diese aufstoßende Bewegung ist also keineswegs eine genetisch verschiedene Erbebenerscheinung, wie man dieser Meinung zuweilen begegnet, sondern blos die (erhöhte) Wirkung solcher (intensiver) Erdstöße auf mit dem Bebenmedium nicht fest verbundene Gegenstände, von Stößen, die sich auf die fixe Erdoberfläche selbst als Undulation übertragen. Ja, bei Seebeben, und gerade in den allermeisten und heftigsten Fällen, wurde wiederholt die Wahrnehmung gemacht, dass die Wasseroberfläche in nicht merklicher Weise afficiert wird, während Schiffe den Schlag von unten sehr heftig erhalten haben und »fliegende Fische« über dem Meere erscheinen.

Eine andere Äußerungsweise der Hauptbebenwelle, die Bildung von Dislocationen, wurde bereits früher erwähnt; es verbleibt sonach nur noch ergänzend zu bemerken, dass sich ein geringer Antheil der Energie der Bewegung in solche der Molecüle (Wärme) und endlich auch in Schall umsetzen kann.

Wir haben uns bis jetzt die Art und Weise, wie wir uns auf Grund einfacher Erwägung, mathematischer Berechnung und directer Beobachtung den Verlauf der Bebenwellen im Boden und ihre erdoberflächliche Wirkung vorzustellen haben, also bekannte Dinge ins Gedächtnis gerufen, um sie für die nachfolgenden Erörterungen in Bereitschaft zu haben.

Denken wir uns in dem einen Falle ein Erdbeben in einer bestimmten Tiefe schwach erregt, in einem anderen Falle, im selben Material und gleicher Herdtiefe, aber mit größerer Erregungsstärke, so ist es klar, dass die Schwingungsweite der seismischen Wellen, sowohl der raschen als der langsamen, im zweiten Falle entsprechend größer sein muss. Sind nun die

---

[1] Diese Arbeitsleistung ist bei schwachen Beben nicht sichtbar, wohl aber daraus zu erkennen, dass z. B. in Sandboden die Intensität der Bebenwelle bekanntlich rasch gedämpft wird.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

voraneilenden Wellen, welche die allerersten Erzitterungen an der Erdoberfläche bewirken, auch die Träger des erdbebenbegleitenden (richtiger: des dem Erd-Beben vorangehenden) Geräusches, woran heute nicht mehr gezweifelt werden kann, dann muss auch die Stärke desselben im zweiten Falle größer sein.

Von den möglichen Fällen, wo dieses Geräusch aus was immer für Gründen abgeschwächt oder verstärkt wird, sehen wir wieder ab; dies sind eben Dissonanzen[1] in der theoretischen Harmonie zwischen Beben- und Schallstärke, die für unsere Betrachtungen momentan nebensächlich sind. Dagegen liegt eine überwiegende Anzahl von Beobachtungen vor, wonach Geräusch und Erschütterung in Einklang befunden worden sind, wie es die einfache Überlegung ergibt, dass die Stärke des erdbebenbegleitenden Geräusches proportional ist der Erregungsstärke und damit im allgemeinen der Fühlbarkeit und Wirkung des Erdbebens selbst.

Detonationen.

Es wäre indes irrig, anzunehmen, dass alle mit Erschütterungen der Erdkruste auftretende Schallerscheinungen eben nur eine Erdbebenbegleitung, getragen von den voraneilenden Wellen seien, denn man stünde damit vor der räthselhaften Thatsache, dass die Stärke des Schalles oft auch die der Erschütterung in einer alle Zweifel ausschließenden Weise übertrifft: colossales Getöse wird mit nur schwach fühlbarer Bewegung des Bodens vernommen; man hat diese Erscheinungen bekanntlich direct als Schallphänomene bezeichnet.

Wir müssen ihnen daher eine andere, in einem eigenen »Detonationsherd« befindliche Ursache zugrunde legen, und damit eröffnet sich uns mit einem Schlage ein ganz anderer Ausblick über die Erscheinung. Wir kehren die Verhältnisse, wie es denn auch der Fall ist, um und sagen: Detonationen sind selbständige Phänomene, Äußerungen einer oder mehrerer in einem bestimmten Herde gelegener Ursachen, und die hiebei

[1] Unter den thatsächlichen Wahrnehmungen dieser Art ist wohl der Wert der meisten durch die hiebei im Spiele befindliche subjective Empfindung und anderer Einflüsse nur ein sehr herabgestimmter. Wie sehr verschieden geben selbst zwei nebeneinander stehende Beobachter die Stärke eines Erdbebens an!

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

etwa vermerkten Erschütterungen des Bodens sind bloß die eben auch diesem Herde entstammenden Begleiterscheinungen der Detonationen. Damit muss eine etwaige Annahme, dass es auch die raschen Schwingungen seien, welche die Detonationen fortpflanzen, fallen; Träger der Detonation ist die Hauptwelle.

Ist die schallerregende Ursache in dem einen Falle geringer, in einem anderen intensiver, so wird auch die schwache Erschütterung im zweiten Falle fühlbarer sein, ja bei starken Detonationen unter Umständen sogar bedrohlich werden können; immmer aber ist — Ausnahmen werden sich auch hier ergeben — die Stärke der Detonation mit der begleitenden Erschütterung des Bodens im Einklang.

Schwache, selbständige Detonationen sind von keiner merklichen Erschütterung begleitet; treten sie an dem einen oder anderen Orte nur äußerst selten auf, so werden sie in der Mehrzahl der Fälle kaum beachtet.

Zu den Detonationen geringer oder allerschwächster Intensität gehören vor allem die durch ihr häufiges Auftreten an bestimmten Stellen der Erdoberfläche gekennzeichneten Erscheinungen, auf welche vor nicht langer Zeit der belgische Geologe Ernst van den Broeck zwecks Evidenthaltung derselben aufmerksam machte.[1] Anlass hiezu boten ihm die den belgischen Küstenbewohnern wohlbekannten Mist- oder Zeepoeffers, welche Broeck an meteorologische Bedingungen zu knüpfen geneigt ist, besonders an heiteres Wetter und Windstille, dann an die Zeiten und Gebiete barometrischer, von annähernd kreisrunden Isobaren begrenzter Maxima (Anticyclonen).

Es steht wohl fest, dass hier eine aus der Tiefe kommende, dumpfen Donnerschlägen vergleichbare Schallerscheinung vorliegt, zu deren Vernehmung es eben der Windstille u. s. w. bedarf. An anderen Orten mögen derlei Phänomene, sofern sie noch nicht oder nur selten aufgetreten sind, im Geräusche des Tages verschwinden oder anderweitigen, künstlichen Ursachen zugeschrieben werden.

---

[1] E. v. d. Broeck, Un phénomène mystérieux de la physique du globe. »Ciel et Terre« (Brüssel, 1895 bis 1896).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Darwin[1] glaubt an einen genetischen Zusammnenhang der Erscheinung mit mikroseismischsen Bewegungen des Bodens; dem kann nur bedingungsweise zugestimmt werden, insoferne die mikroseismischen Bewegungen eben nur die Detonationsbegleitung, nicht aber die Veranlassung der Schallerscheinung bilden können.

Das Nebelpuffen oder Wasserschießen ist bereits auch aus Bayern und Frankreich, selbst aus Java, vom Congo und Ganges (»Barrisal-Sounds«) bekannt geworden; hieran reiht sich das Seeschießen am Bodensee und in Italien (»Marina« der umbrischen Bevölkerung).[2]

Wir haben es hier gewiss mit einer weitverbreiteten, immer wieder an gewissen Stellen auftretenden Erscheinung zu thun, deren Charakteristik neben der geringen Intensität eben in der fast immerwährenden Thätigkeit besteht.

Einen Gengesatz hiezu bilden gewissermaßen die wahren Detonationsschwärme, bezeichnet durch mehr oder weniger rasches Aufeinanderfolgen heftigeren donnerartigen Getöses in Gebieten, wo dies allen Überlieferungen zufolge vor- und nachher nicht beobachtet wurde. Diese Erscheinungen, deren Gesammtdauer Wochen, Monate oder selbst Jahre beträgt, können sich jedoch in Zukunft am selben Orte wiederholen; diese Möglichkeit muss wenigstens von vorneherein zugegeben werden.

Es sei mir gestattet, blos einige charakteristische Vertreter dieser Schwarmphänomene zu nennen und ihre Äußerungsweise kurz zu skizzieren.

Detonationsschwarm »Bramidos« von Guanoxuato (Mexico). 9. Januar bis Mitte Februar 1784. Langsam rollender »Donner« mit kurzen Donnerschlägen abwechselnd, ohne aller Erschütterung. Diese ungewöhnliche Erscheinung beängstigte die Bewohner derart, dass fast alle die reiche Bergstadt verließen.[3] (Nicht weit von ihr treten hochgradige Thermen, »Aquas de Comangillas«, $96^1/_2°$ C., zutage.)

---

[1] G. Darwin, Barisal Guns and Mist Pouffers. — »Nature« (London, 1895).

[2] A. Cancani, Barisal-guns, Mistpoeffers, Marina. — Bolletino della Società Sismologica Italiana. (Modena, 1897.)

[3] A. v. Humboldt, Kosmos. (Stuttgart, 1845...)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Detonationsschwarm zu Villaga, am Nordfuße des Monte Tomatico (Italien), 4. November bis 26. December 1851.[1] Schwächeres und stärkeres »Knallen« abwechselnd zu unregelmäßigen Zeiten. Die meisten Bewohner fühlten die sehr schwachen Erschütterungen nicht, nur einige Personen haben im Augenblicke des Schalles ein Wanken des Erdbodens wahrgenommen. Nur wenige Detonationen (ohne Zweifel die stärksten, die auch von den merklicheren Erschütterungen begleitet gewesen sein mochten) wurden auch in der Stadt Feltre deutlich gehört.

Detonationsschwarm auf Meleda (Dalmatien) in den Jahren 1822 bis 1825.[2] Die Voranzeigen hatten bereits die ansehnliche Dauer eines halben Jahres, März bis September 1822. Die Detonationen glichen der Thätigkeit eines fernen Geschützes, waren bald stärker, bald schwächer und wiederholten sich in unregelmäßigen Zeiträumen. Partsch vergleicht die Detonation ausdrücklich mit Schüssen und betont den Mangel des Anschwellens und Verhallens der Schallintensität, wie es das gewöhnliche Donnerrollen bedinge. Von solchen seien die Detonationen wohl unterschieden gewesen. Da kein Schaden angerichtet wurde, schwand mit der Zeit auch die Furcht der Bevölkerung. Nun folgte eine Ruhepause vom September 1822 bis März 1823. Zu Ende dieses Monates begannen die Detonationen von neuem und dauerten mit oft tagelangen Unterbrechungen fort bis Ende 1825.

Die häufigsten Beobachtungen giengen dahin, dass die heftigen Detonationen auch von stärkeren Erschütterungen begleitet waren; die beiden Intensitätsmaxima der Detonationen am 23. August und 3. September 1823 versetzten die bereits an das Phänomen gewöhnten Inselbewohner in großen Schrecken, zumal die begleitenden Erderschütterungen entsprechend heftiger waren und die armseligen Gebäude beschädigten.

---

[1] W. Haidinger, Das Schallphänomen des Monte Tomatico bei Feltre. Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt. (Wien, 1853).

[2] P. Partsch, Bericht über das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda bei Ragusa. (Wien, 1826.) Da es mir ungescheut aller Mühe nicht gelang, in den Besitz dieser Publication zu kommen, so beziehe ich mich auf die auszugsweise Wiedergabe in R. Hoernes, Erdbebenkunde. (Leipzig, 1893).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach der Erschütterung am 23. August rollte ein ohne Zweifel schon vorher loser Felsblock von ungefähr vier Metercentner Gewicht in das Thal von Babinopoglie hinab.

Nach Partsch hatte das Phänomen von Meleda dreierlei Modificationen aufzuweisen:

1. Detonationen ohne Erschütterung. Dieser Fall war der häufigste; die Schallstärke kann nur gering gewesen sein.

2. Detonationen mit Erschütterung. Dies waren gewiss jene von größerer Intensität.

3. Erschütterungen ohne Detonation. Wie ausdrücklich hervorgehoben wird, war dies der seltenste Fall und wurde nur einigemale beobachtet. Ob sich dies nicht auf die Aussage einzelner Bewohner bezieht, die aus was immer für Gründen die Schallwirkung nicht vernahmen, bleibt die Frage. Es wäre aber immerhin möglich, dass sich auch einzelne Erderschütterungen selbst ereigneten, so wie sich auch vereinzelte schwache Detonationen in Bebenschwärme eingestreut vorfinden. »In der Regel waren nur die stärkeren und mittelmäßigen Detonationen von Erdstößen begleitet, doch gaben sich auch manchmal starke Detonationen kund, auf welche gar keine merkbare Erschütterung des Bodens folgte, oder es ereigneten sich mittelmäßige Detonationen, welche von ziemlich starken Erschütterungen begleitet wurden.«

Der Inhalt der beiden Nachsätze würde nicht nur unserem abgeleiteten Stärkeverhältnisse bei Detonationen, sondern auch dem vielbeobachteten bei Erdbeben zuwider sein und gleichsam ein Mittelding zwischen beiden repräsentieren. Obwohl für dieses Missverhältnis Gründe genug ausfindig gemacht werden könnten oder, wie eben vorhin erwähnt, es nicht ausgeschlossen wäre, dass eine wahre Complication von Detonationen und Erdbeben vorliegt — wogegen jedoch die Mehrzahl der Beobachtungen spräche —, so halte ich doch dafür, dass diese angeblich »manchmal« beobachteten Erscheinungen seitens der Beobachter nicht die richtige Wertschätzung gefunden haben.

Sicherlich hätten die Ereignisse auf Meleda eine ausgezeichnete Gelegenheit zum Studium der Verhältnisse zwischen Schall- und Erschütterungsstärke geboten, und es ist nur zu bedauern, dass dieses geradezu classische Phänomen in eine

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zeit fiel, wo die Seismologie kaum im Werden begriffen war und von einer detaillierten Beobachtung noch keine Rede sein konnte.

Partsch wissen wir es Dank, dass er die wichtigsten Daten sorgsam zusammentrug und damit rettete, was der Nachwelt sonst verschlossen geblieben wäre.

Beben und Schall.

Befindet man sich von einer Explosionsstelle nicht zu weit entfernt in einem Zimmer mit geschlossenem Fenster, so vernimmt man deutlich den Anprall der Schallwellen oder besser der Luftbebenwellen, welche zugleich den Schall mit sich bringen. Es ist mir nicht bekannt, ob diesbezüglich exacte Untersuchungen vorgenommen wurden, und ich bin nur in der Lage, aus wiederholten Beobachtungen anlässlich Felssprengungen zu constatieren, dass voraneilende Lufttremors nicht fühlbar sind; ihre Amplitude mag eine verschwindende Größe haben, wenn diese Wellenart bei Luftbeben überhaupt besteht. Auch bei Seebeben scheint dies in der Mehrzahl der Fall zu sein, doch sind auch Beobachtungen bekannt, wonach dem Stoße unzweifelhaft ein Geräusch vorausgieng, das daher nothwendigerweise von voraneilenden Wellen gebracht worden sein musste. Dagegen werden bei Erdbeben die raschen Wellen in den allermeisten Fällen constatiert, wonach sich also im allgemeinen ergeben würde, dass die Amplitude derselben vom Medium in vielleicht erhöhterem Maße abhängig ist als die der langsamen Wellen.[1]

Da Beben und Schall in Luft gleichzeitig eintreffen, müssen sie die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzen, die rund $^1/_3$ *km* pro Secunde beträgt. Ebenso treffen Beben und Schall, durch große Wassermassen fortgepflanzt, gleichzeitig ein; ihre Geschwindigkeit ist $1 \cdot 4$ *km* pro Secunde.

[1] Es sei ausdrücklich bemerkt, dass dies eine bloße Vermuthung ist; jedenfalls bedarf es größerer Beobachtungsdistanzen (bei den Luft- und Wasserbeben), um einen möglichst großen Zeitunterschied für das Eintreffen beider Wellenarten zu gewinnen, wodurch aber die Vernehmbarkeit wieder herabgemindert wird.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nun treffen auch die Vorboten bei Erdbeben, die Tremors und das Geräusch gleichzeitig ein, wie dies zahlreiche Beobachtungen bestätigen; ihre Geschwindigkeit beträgt bei 10000 *km* Distanz vom Epicentrum, beziehungsweise vom Herde kurzweg, circa 10 *km* pro Secunde. Dieselbe hat sicherlich wegen des vielfach wechselnden und gestörten Mediums eine relativ weit größere Einbuße erlitten als dies bei den anderen der Fall ist, und wenn wir die wahre Geschwindigkeit auf das Doppelte veranschlagen würden, hätten wir vielleicht nicht zu hoch gegriffen. Diese Geschwindigkeitswerte deuten offenbar das Maximalmaß der Schnelligkeit an, mit welcher sich die Erregung, beziehungsweise die Schwingungen in einem bestimmten Medium von einem Theilchen zum anderen fortzupflanzen vermögen; und dieses »Fortpflanzungsvermögen« findet eben in dem Verhältnisse der Elasticität und Dichte des betreffenden Mediums $\left(c = \sqrt{\frac{e}{d}}\right)$ seinen Ausdruck.

Wir haben mit den beiden ersten Beispielen akustische Versuche herangezogen; die Ursache war eine besonders schallerregende, die einlangenden Wellen waren Schallwellen, welche aber durch ihr Schwingen in den betreffenden Medien zugleich Bebenwellen sind, die sich an der Grenze zweier Medien oder an gewissen Gegenständen als solche äußern können.

Demnach wäre der Schluss naheliegend, dass die den Erdbeben voraneilenden Wellen ebenfalls nichts anderes sind als Schallwellen, deren Bebenenergie sich erdoberflächlich als Bodenvibration äußert; wir könnten uns sehr wol denken, dass bei den meisten Erdbebenursachen, also bei vorzüglich seismischer Erregung, nebenbei auch ein gewisses, wenn auch kleines Maß akustischer Erregung besteht, welch letztere in Form der Vorboten rasch an die Erdoberfläche befördert wird, während es geraumer Zeit bedarf, ehe das überwiegende Maß an seismischer Erregung aufgeladen wird und erst später als schwerfälliger Transport an die Oberfläche gelangt. Ohne Zweifel kommt dann der Tête des Transportes, der Wellenstirne, die Aufgabe zu, die Theilchen des Mediums aus ihrer Ruhelage zu bringen, was einem Verbrauche an Intensität gleich kommt,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

während die nachfolgenden Wellenphasen die Theilchen schon vorbereitet finden und das so disponierte Medium ohne Einbuße an Amplitudenmaß durchwandern.

In der That nun äußert sich auch das Einlangen der Hauptwellen bei Erdbeben an der Oberfläche in einer ähnlichen Weise, in einem Anschwellen zu einer Maximalwirkung.

Ist nun diese Vorstellung, dass die voraneilenden Schwingungen die Schallwellen, die nachhinkenden aber die Bebenwellen sind, im allgemeinen für jede (beben- oder detonationsbewirkende) Erregung und für jedes Mittel zulässig, dann könnte man sagen: »So wie die jedem Erdbeben voraneilenden Schallwellen uns durch ihre hohe Geschwindigkeit annähernd das Elasticität- und Dichteverhältnis der Erdkruste verrathen, so sind auch die — durch eben ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieses Verhältnis für Wasser und Luft[1] kundgebenden — Schallwellen unserer beiden Versuche nichts anderes als die voraneilenden Wellen, bezüglich dieser Erregungen. Sie sind es, weil sie ‚Schallwellen' sind; die Hauptwelle, das nachfolgende Beben, kommt nicht zur Ausbildung, weil die Erregungsursache eben eine vorzüglich akustische und nicht seismische gewesen war.«

Es ist evident, dass dies einem Trugschlusse gleichkäme. Zunächst sprechen dagegen directe Beobachtungen. Wohl ist bei Versuchen mit einem Läutewerk die Erregung eine vorzüglich akustische, bei einer Sprengung aber ist der akustischen Erregung schon ein ansehnliches Maß seismischer beigemischt; es liegt daher Luftdetonation und gleichzeitiges Beben vor; da letzteres in der Mehrzahl der Fälle sogar eine größere Stärke aufweisen könnte, wäre es nicht zu verwundern, wenn man nach vermerkter Detonation noch einlangende, nicht tönende Bebenwellen beobachten würde. Diese Wahrnehmung dürfte aber noch nirgends gemacht worden sein; ja es scheint, als würden reine Bebenwellen im luftartigen Medium eine größere Dämpfung ihrer Intensität erleiden als die Detonationswellen. Selbst in größerer Entfernung vernimmt man mitunter noch den dumpfen Knall, kaum mehr ein gleichzeitiges, wenn auch

[1] In diesen beiden Mitteln kann es sich natürlich nur um longitudinale Wellen handeln.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

nur schwaches Erzittern der Fenster, geschweige denn ein andauerndes oder selbständig nachfolgendes Vibrieren; reine Detonationen würden dies noch weniger aufweisen können.

Anders verhält es sich wohl bei Explosionen unter Wasser. Auch hier liegt nie alleinige akustische Erregung vor; im Momente der Explosion einer schwimmenden Mine wird das Wasser in der nächsten Umgebung des Herdes dislociert und mit der Wasserdetonation zugleich ein selbständiges Seebeben ausgelöst, beziehungsweise erregt. In den meisten Fällen nun wird das letztere aber in einem viel weiteren Umkreise constatiert als die wasseroberflächliche Detonationsäußerung, welche mitunter angeblich auf ein sehr kleines epicentrales Gebiet beschränkt bleibt. Von dort wandert sie nach allen Richtungen als Luftschallwelle über die See dahin.[1]

Man dürfte daraus noch nicht folgern, das der Schall eine größere Abschwächung im Wasser erleidet als das Beben, wenn dies nicht noch andere Beobachtungen ergeben würden. Es mangelt an der Vergleichsbasis, an dem Umstand, dass Detonation und Beben gleicher Erregungsstärke entsprangen.

Bekanntlich verhalten sich die vielen Sprengmittel in dieser Beziehung sehr verschieden, es gibt schwächer und stärker detonierende Explosionskörper.

Denken wir uns den idealen Fall ermöglicht, an zwei Stellen einer See (in gleicher Herdtiefe) mit gleicher Stärke in dem einen Punkte eine reine Detonation, in dem anderen ein reines Beben erregt, so zwar, dass Centrumsgeschwindigkeit und Amplitude der ausgehenden Wellen beider Herde gleich wären, dann müsste die oberflächliche Äußerung beider Erscheinungen theoretisch gleich weit vernehmbar sein, und doch würde in Wirklichkeit, wenn die Beobachtungen bei den Minensprengungen nicht trügen, selbst in diesem Falle der Schall eine verhältnismäßig zeitliche Dämpfung erleiden und seinem wahren Verbreitungsgebiete (exclusive Luftdetonation) nach hinter dem des Seebebens zurückbleiben.

---

[1] E. Rudolph (nach Le Contes Bericht), Über submarine Erdbeben und Eruptionen. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. I und II, (Stuttgart, 1887 und 1895).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die Erschütterung aber, die eine reine Detonationswelle an sich, infolge ihrer ureigenen Schwingungen bewirken könnte, muss füglich nur so weit oder wenigstens nicht um vieles weiter vernehmbar sein, als sich der Schall selbst äußert; man wäre denn gezwungen anzunehmen, dass in dieser einzigen Welle die Theilchen nicht nur longitudinal (Schall), sondern auch transversal (Beben) schwingen, und dass die endliche, alleinige Fortpflanzung der letzteren, etwa weniger abgeschwächter Wellenform die weitere Ausbreitung des Bebengebietes gegenüber dem Detonationsgebiete bewirkt. Eine solche Annahme ist aber für Wasser und Luft selbstverständlich nicht zulässig.

Ich bemerke dies, weil man in dem Berichte John Le Contes über die Beobachtungen anlässlich der 1874 im Hafen von San Francisco vorgenommenen Riffsprengung[1] der Meinung begegnet, dass eine einzige Welle vorliegt, die erstens im Epicentrum die Detonation bewirkte, welche sich sodann als »zweiter Stoß durch die Luft hören ließ«, id est Luftschall — und zweitens noch in 200 bis 300 Fuß Entfernung von der Patrone sich als Schlag auf den Schiffsboden ohne gleichzeitigen, direct aus dem Wasser herstammenden Schall bemerkbar machte.

Es wurde übersehen, dass eine Complication von Erregungen, nicht nur eine akustische, sondern auch und eben vorwiegend seismische, sowohl in Wasser als im Fels, den Gesammterscheinungen zugrunde liegt.

Wir haben es hier mit einer Art Grundmine zu thun; selbst wenn wir annehmen, dass die Patrone (mit 15 Pfund Explosivmasse, wovon drei Viertheltheile aus Nitroglycerin bestanden) nicht in einem Bohrloche versenkt war, sondern frei auf dem Riffe lag, so muss durch die Zertrümmerung der Gesteinsunterlage, also an der Grenze der beiden Medien, ein Erd- und Wasserbeben zugleich mit der Detonation entstehen. Die letztere strebt vorzüglich nach oben, in der Richtung des geringst auflastenden Wasserdruckes, also zum Epicentrum hin; das ist eine Folge der geringen Herdtiefe (Wasserstand über

[1] E. Rudolph, ebenda.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

dem Riffe 15 Fuß bei Ebbe) und die Detonation verläuft daher so, als wäre sie vertical-pulsiv erregt.[1] Ist es aber Thatsache, dass die Wasserdetonation nur in dem beschränkten epicentralen Gebiet zur Entladung kommt, wie versichert wird, dann müssen wir eben annehmen, dass der Schall eo ipso im baldigen Umkreise des Herdes unterdrückt worden wäre. Es wäre sonst nicht einzusehen, warum etwa die unter 45° zur Oberfläche gerichteten Schallstrahlen nicht mehr einlangen sollten, obzwar die Schwingungen einen größeren Weg zurückzulegen haben, die Höhe der zu durchwandernden Wasserschichte aber die gleiche wie für die verticalen Strahlen ist.

Bekanntlich sind die Detonationserscheinungen für den Seeminenkrieg Nebensache, beabsichtigt wird die Zerstörung feindlicher Schiffe durch die Intensität des Seebebens, bei dessen absichtlicher Erregung nebenbei, und zwar gleichzeitig, eine Schallerregung stattfindet. Dieses »Seebeben« wurde denn auch bei den oben angezogenen Riffsprengungen noch in 300 Fuß Distanz und weiter hinaus verspürt.

Leider ist aus den lehrreichen Versuchen General Abbots[2] nicht zu ersehen, wie weit sich die Detonation und das Beben im Wasser verbreitet hat, da der hauptsächliche Zweck der Minensprengungen ein anderer war. Dagegen finden sich Angaben über das zeitliche Verhältnis von Beben und Schall. In Schuss Nr. 523 befand sich die schwimmende Mine mit zehn Pfund Dynamit in 35 Fuß Tiefe versenkt. Abbot saß in einem Boote, 50 Fuß vom Epicentrum entfernt. Im Augenblicke der Explosion fühlte die ins Wasser gehaltene Hand den Stoß wie einen elektrischen Schlag und gleichzeitig[3] mit diesem »einen

---

[1] Über die Erregungsart von Erdbeben und andere, die Propagation bestimmende Factoren. — Sitzungsberichte »Lotos« (Prag, 1900).

[2] H. L. Abbot, Report upon Experiments and Investigations to develop a System of Submarine Mines for defending the Harbors of the United States. — Professional Papers of the Corps of Engineers of the United States Army (Washington, 1881). — Die wichtigsten Daten aus diesem Berichte über circa 700 unterseeische Explosionen sind in E. Rudolph, l. c. (Fortsetzung), III. Bd., 2. H. (Leipzig, 1897) enthalten.

[3] Die Gleichzeitigkeit von Stoß und Schall wird auch in den allermeisten Nachrichten über natürliche Seebeben hervorgehoben.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

lauten Schall, der sich, wie gewöhnlich, dreimal wiederholte«. Zunächst wollen wir bemerken, dass der Standort Abbots nicht mehr zum epicentralen Gebiete gerechnet werden kann, denn der Auftauchungswinkel des Stoßstrahles mit der Oberfläche hätte dort nur ungefähr 35° betragen, bei geradliniger Verbindung des Bootes mit der Mine, wogegen nichts einzuwenden ist. Nun ist aus dem Berichte aber nicht zu entnehmen, ob Abbot den Schall direct aus dem Wasser vernahm, d. h. aus der unmittelbaren Umgebung des Bootes oder vom Epicentrum her durch die Luft fortgepflanzt; die Detonation in Luft müsste $^1/_{20}$ Secunde nach dem Stoße eingelangt sein, was für den Beobachter soviel wie Gleichzeitigkeit bedeutet. Nun ist mit dieser ganz oder fast ganz mathematisch zu nehmenden Gleichzeitigkeit die dreimalige Wiederholung der Detonation nicht gut vereinbar; dies würde mindestens auf größere, noch unterscheidbare Zwischenzeiten schließen lassen, vielleicht auf $^1/_{10}$ Secunde, wenn nicht mehr! Und welche von den drei raschen Detonationen war mit dem empfundenen Schlage gleichzeitig? Hier lässt uns die Beobachtung im Stiche... Doch:

Das Phänomen des drei- oder vielleicht mehrmaligen Schalles ist eine bei kleinen und tief versenkten Ladungen wiederholt beobachtete Thatsache, sofern rasch verbrennende Explosivstoffe, also Sprengmittel in Verwendung kommen, denen eine hohe »Explosionswellengeschwindigkeit« in ihrer Masse selbst eigen ist, wie man Rudolphs lichtvoller Darstellung des Explosionsvorganges entnehmen kann.[1] Im Momente der Minenexplosion vernimmt man drei helle Töne, wie wenn Schläge gegen einen harten Gegenstand geführt würden; ihre Intensität scheint gleich zu sein. Sollten dies nicht etwa drei Schallstöße sein, die rasch hintereinander aus dem Wasser auftauchen, von der Beobachtungsstelle, etwa von der Mitte der Beobachtungsdistanz und vom Epicentrum her, und sich nun auf kürzestem, längerem und längstem Wege durch die Luft endlich auf das Ohr übertragen? Warum sind es gerade

[1] E. Rudolph, Über submarine Erdbeben und Eruptionen. Gerlands Beiträge zur Geophysik, III./2. (Leipzig, 1897.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

drei? Offenbar kann eine größere Zahl nicht unterschieden werden und kommen nur die stärksten zur Geltung.

Wie wir in der Folge sehen werden, müssen wir die Hauptwellen eines seismischen Vorganges als die Träger der Erregung betrachten, d. h. die »langsam« schwingenden Wellen sind es, welche sowohl eine Beben- als auch Schallerregung an die Oberfläche u. s. w. fortpflanzen, und zwar — wenn beide Erregungsarten vorliegen — mit gleicher Geschwindigkeit.

Demnach müssen den eben besprochenen raschen Schalläußerungen ebensoviele kurze rasche Bebenstöße entsprechen, was das Gefühl des »Elektrisierens« bedingen mag. Die Hand unterscheidet die Zahl der Stöße nicht, das Gesammtgefühl ist gleich dem eines »elektrischen Schlages«, ein auch von anderen Beobachtern gebrauchter Vergleich.

Die Dauer desselben kann keinen Moment, sondern muss einen messbaren Zeitraum betragen, vielleicht eine halbe Secunde. Innerhalb desselben vermag aber das Ohr die einzelnen, wirklich gleichzeitig aufgetretenen Schallstöße noch zu unterscheiden. Diese Vernehmbarkeit bedingt aber die Verwendung kleiner Mengen einer besonders detonierenden Substanz in größerer Tiefe.

Eine nur 3 bis 4 *m* unter dem Meeresspiegel schwimmende Mine mit 60 *kg* Pulver ergibt ein dumpfes dröhnendes Getöse. Eine große Minenladung muss die akustischen Details naturgemäß verwischen; weniger detonierende Explosivkörper, mechanische Gemische erzeugen mehr ein Geräusch als ein Tönen, und je größer die Herdtiefe ist, desto wahrscheinlicher ist die große Ausbreitung der Detonation, die daher selbst an entlegenen Punkten noch aus dem Wasser heraus vernommen werden muss, freilich abgeschwächt, was nichts im Gefolge hat, wenn dies nicht in großem Maße der Fall ist. Die Abschwächung kommt in diesem Versuche nur gleich der Verwendung einer etwas geringeren Ladung an Explosivstoff.

Stoß und Schall sind vernehmbar noch bevor sich irgendeine Störung der Wasseroberfläche im Epicentrum (Aufspritzen, domförmiges Aufwölben, Emporschießen der Wassergarbe) bemerkbar macht.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Allem Anscheine nach handelt es sich also in diesen Fällen um wahre und nicht erst vom Epicentrum her übertragene Detonationen. Eine Thatsache aber steht fest, dass nach vernommener Detonation kein Stoß mehr folgt, woraus wir schließen dürfen:

1. Die Detonationen im Wasser können nicht von Wellen fortgepflanzt werden, denen der Charakter der seismischen »Vorboten« zukommt, vielmehr

2. Beben und Schall müssen von einer anderen Wellenart, und zwar mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt werden.

Dasselbe gilt wohl auch für natürliche Detonationen, die aber stets in bedeutend größerer Tiefe verursacht sind, weshalb es höchstens zu einem Aufspritzen des Wassers im epicentralen Gebiete kommt, wie wenn heftiger Regen auf die glatte Meeresfläche aufschlagen würde u. s. w.

Für die Detonationen in der Lithosphäre endlich braucht nur erwogen werden, dass es im hohen Grade unwahrscheinlich wäre, wenn selbst die heftigsten Detonationswellen mit dem Charakter der voraneilenden Schwingungen eine solche Schütterwirkung im Gefolge haben könnten, wie sie auf Meleda verzeichnet wurde.

Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, dass sowohl die in Luft, Wasser als auch im Erdboden erregten und weitergetragenen Detonationen die Hauptphase des allgemeinen Verlaufes seismischer Phänomene darstellen, dass sie von den »langsamen« Wellen fortgepflanzt werden, die je nach dem betreffenden Mittel eine einfache (longitudinale) oder compliciertere Schwingungsart aufweisen werden.

Diese haben wir daher als die Träger der betreffenden Erregung durch ein beliebiges Mittel hindurch aufzufassen, als diejenigen Wellen, welche die Erdbebenenergie bei seismischer, die Detonationsenergie bei akustischer Erregung nach allen Richtungen und so auch gegen die Erdoberfläche fortpflanzen mit einer Geschwindigkeit, die nur von dem Elasticitäts- und Dichteverhältnis des betreffenden Mediums und nicht auch von der Erregungsart (einem Impuls bestimmter Richtung) abhängt. Liegt demnach einem Phänomen eine Complication letzterer zugrunde, so werden beide Erscheinungen, Beben und Schall,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

von den langsamen Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fortgetragen. Für das Stärkeverhältnis zwischen beiden muss daher eine gewisse Vermengung der gedachten Erregungsarten nothwendigerweise Dissonanzen im Gefolge haben.

Räthselhaft bleibt nur das Wesen die Herkunft der voraneilenden Schwingungen, sowohl bei Erdbeben als bei Bodendetonationen, bei Seebeben und Wasserdetonationen u. s. w., wie wir den ersteren hinzufügen wollen. Die Frage bleibt aber, wie schon erwähnt, noch offen, ob diese Wellenart bei den letztgenannten drei Erscheinungen überhaupt vorhanden ist.

Es drängt uns nicht zu wissen, warum diese Schwingungen mit kleiner Amplitude schneller an die Erdoberfläche gelangen, als die mit größerer Schwingungsweite, sondern wo und warum sie überhaupt entstehen. Kommt das tremorbegleitende Geräusch erst unterwegs zustande und ist die vibrierende Vorhut bei Erdbeben nur das voraneilende Abbild der überwiegend seismischen Erregung im Herde, dann könnten wir daraus entnehmen oder folgern, dass bei vorzüglich akustischer und nebensächlich seismischer Erregung, also den Detonationen keine erdoberflächlich vibrationsfähige oder nur sehr schwache, tönende Vorboten vorangehen würden.

Gehen die raschen Wellen aber schon vom Herde aus, dann drängt sich uns von neuem, aber anderem als rein mathematisch-physikalischen Gesichtspunkte aus die Frage nach dem Grunde ihrer Entstehung auf. Drücken diese geheimnisvollen Wellen etwa das Maß der akustischen Erregung aus, die neben der vorwiegend seismischen bei einem Erdbeben vorhanden ist oder sein kann, dann müssten heftige Bodendetonationen auch ihre entsprechend intensiven Schallvorboten besitzen.[1]

Wir haben vorderhand keine Anhaltspunkte, um all diese Fragen auch nur im entferntesten beantworten zu können; Fragen, die ein Phänomen betreffen, dessen immense Bedeutung allein aus dem Umstande erhellt, dass es uns ein Elasticitäts- und Dichteverhältnis der Erdkruste verrathen hat, welches man

[1] Gelegentlich der Melniker Detonation am 8. April 1898 waren unter 78 positiven Nachrichten (Beobachtungsorte) nur zwei mit vorausgehenden Dröhnen. J. Woldrich, Melniker Detonation, S. 19.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

sonst wohl nie hätte ahnen können.[1] Entstehen bei Wasser- und Luftbeben, die wir etwa durch ein vorzüglich bebenerregendes Mittel von colossaler Intensität zustande bringen könnten, voraneilende Wellen, dann würden sie uns das gedachte Verhältnis für diese Medien ebenfalls durch ein Vielfaches der bislang ermittelten Werte der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Hauptphasen kundgeben, wie dies bei Erdbeben der Fall ist.

Wir haben auf Grund directer Beobachtungen im Vorangehenden wahrscheinlich zu machen versucht, dass Beben und Schall in einem bestimmten Medium stets die gleiche Geschwindigkeit besitzen, dass also die von der wägbaren Materie getragenen seismischen und akustischen Wellen etwa in einer ähnlichen Beziehung zueinander stehen, wie die elektromagnetischen und optischen Wellen bezüglich der unwägbaren Materie, über welche allerdings ganz andere Versuche (Maxwell, Hertz) vorliegen, die durch ihre alle Zweifel ausschließende Exactheit weit über jenen stehen, die die Seismologie aufzuweisen hat; hier sind es weniger Messungen, als es die Fülle der Beobachtungen ist, die uns vorderhand zum Aufbau unserer Theorien zu Gebote steht.

Ich glaube nach den früheren Erörterungen nicht missverstanden zu werden, betone aber dennoch, dass sich diese Gleichheit der Geschwindigkeiten bei den reinen seismischen Phänomenen der Lithosphäre (wozu wir die Mehrzahl der Dislocationserdbeben rechnen dürfen) nur auf die raschen Wellen bezieht; Tremors und tremorbegleitendes Geräusch werden immer gleichzeitig vernommen. Findet nebenbei noch ein gewisses Maß akustischer Erregung statt, dann wird dasselbe zugleich mit den langsamen Wellen fortgepflanzt; diese »unreinen oder gemischten« Phänomene der Lithosphäre (gewisse Vulcanbeben) weisen daher sowohl tremorbegleitendes Geräusch, als auch gleichzeitig mit dem eigentlichen Beben ein Getöse auf.

---

[1] Ich sage absichtlich »verrathen«, denn die Geschwindigkeiten der raschen sowohl als der langsamen Wellen, die wir annähernd kennen, sind keine durchschnittlichen, d. h. keine Mittel von Centrums- und wahrer Oberflächengeschwindigkeit, sondern sind scheinbare Oberflächengeschwindigkeiten. Vergl. A. Schmidt, Wellenbewegung und Erdbeben. — Jahreshefte des Vereines für vaterl. Naturkunde in Württemberg. (Stuttgart, 1888.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Überwiegt die akustische Erregung (bei Bodendetonationen), dann wird ebenfalls Schall und (z. B. Einsturz-) Beben von den langsamen Wellen fortgepflanzt und gleichzeitig vernommen; ob es bei nahezu reiner Detonation noch zur Entstehung voraneilender Wellen kommt, ist, wie bereits hervorgehoben, noch die Frage.

Das Gleiche gilt für Wasserdetonationen nicht nur wegen der vorwiegend akustischen Erregung, sondern auch wegen des Mediums. Natürliche, aus dem Meere vernehmbare Detonationen sind noch fast gar nicht studiert; bei den künstlich hervorgerufenen Wasserdetonationen kommt es stets nebenbei noch zu einem Seebeben; Schall und Beben werden ebenfalls der langsamen Wellenart angehören, sie kommen gleichzeitig zur Wahrnehmung.

Natürliche Seebeben bedürfen bezüglich dieser Erscheinungen ebenfalls noch eines künftigen Studiums; die Schwierigkeiten eines solchen liegen übrigens nahe: Die allermeisten Seebeben werden überhaupt nur durch das zufällige Passieren des Schüttergebietes constatiert.

Die Gleichzeitigkeit von Beben und Schall wird hervorgehoben, aber auch Geräusch vor Wahrnehmung des Stoßes ist beobachtet worden.

Im ersteren Falle scheinen daher nicht rein seismische Phänomene der Hydrosphäre vorzuliegen, während die letzteren, selteneren Beobachtungen die Möglichkeit nicht ausschließen, dass auch den reinen Seebeben (sowie den reinen Erdbeben) Wellen voraneilen, die vom Schiffe unmöglich als Vibration verspürt werden, deren Schallwirkung aber unter Umständen noch zur Wahrnehmung gelangen kann.

Werden bei einem Erdbeben Schall und Erschütterung hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten in Betracht gezogen, so ist zu bedenken, dass man damit vor allem die Geschwindigkeiten der raschen und der langsamen Wellen miteinander vergleicht. Der Unterschied kann aber aus diesem alleinigen Grunde nicht groß sein, da die Beobachtungen gewöhnlich aus verhältnismäßig nicht sehr ausgedehnten Schüttergebieten stammen, und die Geschwindigkeit der ersteren in 1500 *km* Entfernung circa 3·6 *km*, der letzteren circa 2·4 *km* beträgt; in 5000 *km* Ent-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

fernung ergeben sich schon größere Unterschiede etwa 5 und 2·5 *km*, während im Abstande eines Erdquadranten (10.000 *km*) ungefähr die Zahlen 10 und 2·8 *km* gefunden werden.[1] Weiters ist zu bedenken, dass man hiebei stets mit ungenauen Zeitangaben zu thun hat, welche die Ergebnisse einer solchen Berechnung im hohen Grade verunstalten werden. Im günstigsten Falle wird man vielleicht annehmen können, dass der Zeitberechnungsfehler für beide Wellenarten in fast gleichem Maße in Betracht kommt, für die Differenz der gefundenen Werte daher weniger von Belang ist.

In der Nähe der Erdoberfläche muss der Geschwindigkeitsverlust[2] für beide Wellenarten ein unvergleichlich größerer sein als in der Tiefe; es bedingt dies die arge Zerklüftung und Zersetzung der obersten »Schichten« und ihre Vermengung mit Wasser und Luft. Infolge dessen findet nicht nur eine ziemlich jähe Schwenkung der Wellen (Brechung der Strahlen) gegen das Epicentrum hin statt, als würden dieselben an dem Contact von Litho- und Atmosphäre schleifen oder adhärieren, sondern es ergibt sich auch eine Einbuße scheinbarer Oberflächengeschwindigkeit; und diese ist es ja, welche aus den Zeitbeobachtungen berechnet wird.

Solche Berechnungen werden nach alledem Geschwindigkeiten ergeben, die ihrem absoluten Werte nach nicht allein deswegen hinter dem früher angeführten weit zurückstehen, weil eben diese in noch geringerer Entfernung als 1500 *km* eo ipso (bedeutend) kleiner sind, sondern auch aus dem Grunde, weil in der Contactzone von Erde und Luft eine oft local bedeutende Schleppung der Wellen stattfindet; der relative Unterschied zwischen Schall- und Bebenwellen aber hinsichtlich ihrer Geschwindigkeiten wird, wenn nicht große Zeitbeobachtungsfehler unterlaufen sind, nicht bedeutend sein. Es liegen nicht viele solche Berechnungen vor; es genüge die Anführung zweier:

---

[1] E. v. Rebeur-Paschwitz, Vorschläge zur Errichtung eines internationalen Systems von Erdbeben-Stationen. Gerlands Beiträge zur Geophysik, II. Bd., 2—4 Heft. (Stuttgart, 1895.)

[2] Einbuße an wahrer Oberflächengeschwindigkeit.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Erdbeben von Herzogenrath 24. VI. 1877	Rheinisches Beben 26. VIII. 1878
Schallgeschwindigkeit.....	485·96 *m*	310·20 *m*
Bebengeschwindigkeit	374·83 *m*	302·16 *m*[1]

Prof. Hoernes bemerkt zu dem zweiten: »Die für dieses Beben ermittelten Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Erschütterung sowohl wie des Schalles sind auffallend niedrig, denn der Schall erreicht ja in Luft eine solche von 340 *m*.«

Es ist hier nicht der Ort, die citierten Resultate ihrer absoluten Werte wegen weiter zu discutieren, für unseren Zweck waren hauptsächlich die gefundenen Differenzen von Interesse.

Unterscheidung von Erdbeben und Detonationen.

Fassen wir kurz die Ergebnisse aller Erörterungen zusammen, um damit unsere »Detonationstheorie« weiter zu bauen, so dürfen wir sagen:

Bodendetonationen sind in der Mehrzahl Mischphänomene von vorwiegend akustischer Erregung; diese wird vom Entstehungsherde ab durch die Erdkruste hindurch von Wellen fortgepflanzt, die den eigentlichen (langsamen) Erdbebenwellen entsprechen und auch die gleiche Geschwindigkeit wie diese besitzen.

Der Schall der Detonationsphänomene bildet daher kein Analogon zu dem bei den meisten Erdbeben vor der Haupterschütterung wahrnehmbaren Geräusche.

Detonationen weisen verschiedene Stärkegrade auf und sind in der Regel von Erschütterungen der Oberfläche des Mediums begleitet, deren Intensität mit der des Schalles in relativem Einklang ist.

Obwohl es nun in erster Linie von dem Mischungsverhältnisse der akustischen und der seismischen Erregungsgröße abhängig sein wird, inwieweit bei den verschiedenen Phänomenen dieser Einklang zwischen Schall- und Erschütterungsstärke vorhanden ist, so ergibt sich doch nach den mir bekannt gewordenen Beobachtungen, dass derselbe ohne Zwang

[1] Aus Hoernes Erdbebenkunde, S. 77 entnommen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in ein einheitliches Schema gebracht werden kann, zu welchem Zwecke zunächst die Aufstellung einer beiläufigen Intensitätsscala für die Detonationen versucht werden soll.

Man dürfte mit fünf Unterscheidungsgrade sein Auslangen finden:

1. Detonation allergeringster Stärke; nur schwach vernehmbar bei größter Ruhe und Auflegen des Ohres auf den Boden.

2. Detonation geringer Stärke; bei größter Ruhe und Windstille deutlich durch die Luft vernehmbar, am Boden horchend stärker.

3. Detonation mittlerer Stärke; bereits auffallendes, selbst bei unvollkommener Ruhe im Freien wahrnehmbares Getöse, auch im ruhigen, geschlossenen Zimmer deutlich hörbar.

4. Detonation großer Stärke; starkes, schreckenerregendes Getöse.

5. Detonation größter Stärke; heftiges donnerartiges Krachen oder dem Knallen nicht weit entfernter Geschütze ähnlich; allgemeiner Schrecken in der Bevölkerung.

(Den letzeren kann indes auch die unheimlich lange Dauer eines schwachen Phänomens verursachen bei Menschen, die in demselben nur die Vorzeichen einer vermeintlich folgenden Katastrophe erblicken, wie dies gelegentlich der »Bramidos« der Fall war.)

Dieselben Stärkegrade behalten wir auch für die erdbebenbegleitenden Getöse bei.

Mit Hilfe dieser Stufenleiter können wir — da wir über einen absoluten Maßstab ebenso wie für Erschütterungen nicht verfügen — die in der Erdbebenstatistik vorhandenen Stärkeangaben wohl nur schätzen, die überwiegende Mehrzahl der Beobachtungen aber in Gruppen bringen, welche das scheinbare Missverhältnis[1] zwischen Erschütterung und Schall der seismisch-akustischen Phänomene aufhellen:

[1] R. Hoernes, l. c., S. 74: »Die Stärke des Schalles steht keineswegs in Beziehung zur Stärke der Erschütterung«. Dies gilt eben nur dann, wenn Erdbeben und Detonationen nicht streng voneinander gehalten werden, wie aus der folgenden Zusammenstellung erhellt. Eine Erschütterung vom Grade V kann mit einem Getöse der Stärke 2, aber auch 5 auftreten; im ersten Falle liegt ein Erdbeben, im zweiten eine Detonation vor.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ursache

vorzüglich bebenerregend:	vorzüglich schallerregend:
A. Schwache Erdbeben (Intensität II bis IV) ohne oder mit kaum vernehmbarem Schall (±1).	*a.* Schwache Detonationen (1 bis 2) ohne Erschütterung.
B. Stärkere Erdbeben (V bis VII) mit deutlich vernehmbarer Schallbegleitung (2 bis 3).	*b.* Stärkere Detonationen (3 bis 4) mit merklicher Erschütterung (II bis IV).
C. Heftige Erdbeben (VIII bis X) mit starkem Getöse (±4), das in der Mehrzahl eine Summenäußerung sowohl des voraneilenden Geräusches, als der Begleitdetonation sein wird. In dieser Hinsicht würden diese Mischphänomene den Übergang zu den heftigen Detonationen bilden.	*c.* Heftige Detonationen (5) mit starker Erschütterung (V bis VI). Hier ist es wieder die letztere, welche eine Summenwirkung der Detonations- und Bebenwellen darstellt; Detonationen mit noch stärkerer Erschütterung müsste man als wahre Übergangserscheinungen zu den heftigen Erdbeben auffassen.

Diese Übergänge (und damit die Gefahr des Verwechselns der Erscheinungen) kann man sich auch hinsichtlich der weniger intensiven Gruppen *B* und *b* ermöglicht denken, und es können daher immerhin Fälle vorkommen, wo man bezüglich der Einreihung einer Erscheinung im Zweifel wäre, weil eben, wie die Gruppierung voraussetzt, eine der beiden Erregungsursachen nicht eine überwiegende gewesen und es in Wirklichkeit zu einem »vollkommenen Mischphänomen« gekommen war.

Trägt man sich auf einer Geraden nach oben und unten hin die seismischen und akustischen Stärkegrade auf, so erhält man ein übersichtliches Bild der Intensitätsgruppierung der Erdbeben und Bodendetonationen (Fig. 1 *a*). Dabei müsste man die linke (Beben-) Seite nahe um die »Abscisse *O*«, die rechte (Detonations-) Seite um die »Abscisse 1« zusammenlegen, um eine Deckung der Punkte zu erhalten (Fig. 1 *b*). Klappt man die beiden Flächen überdies um die Grenzlinie xy zusammen, so kommen die Bebenpunkte oben, die Detonationspunkte unten zu liegen — auf zwei fast äquidistanten Curven (Fig. 1 *c*). Ein praktischeres Intensitäts-Graphicon dürfte jenes sein, das man erhält, wenn man die Beben- und Schallstärken in größerem Maßstabe direct auf Ordinate und Abscisse aufträgt (Fig. 2).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

In der Regel dürfte man nicht in Zweifel kommen, welcher der beiden Curven eine Erscheinung angehört. Der Raum zwischen den beiden Zonen, beziehungsweise seine Mittellinie wäre das Graphicon der vollkommenen Mischphänomene.

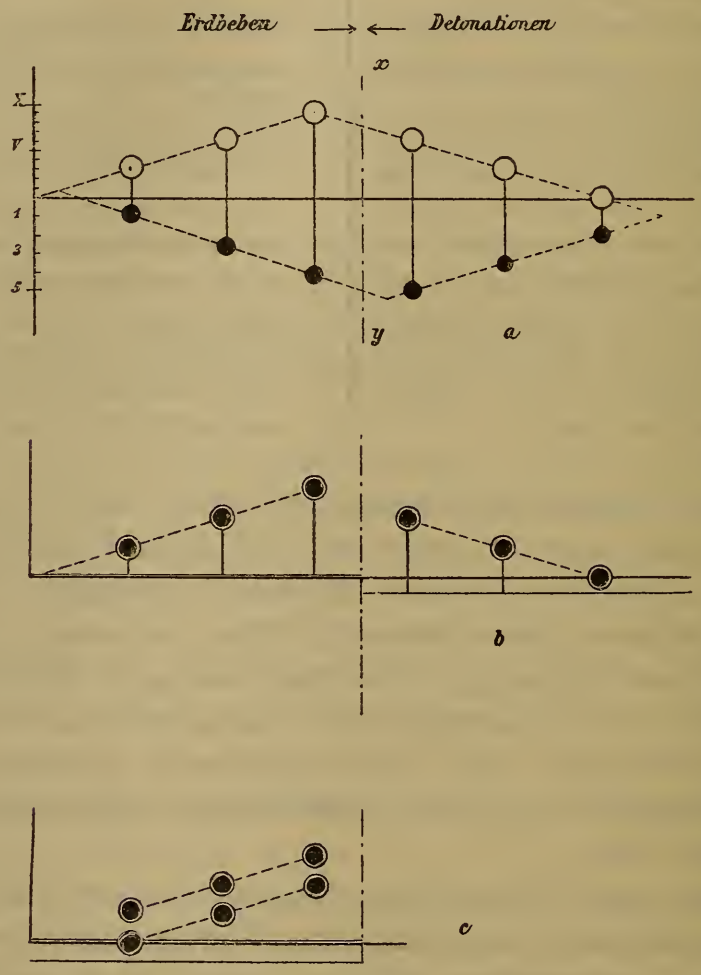

Fig. 1.

Nachdem wir einmal bei der graphischen Verzeichnung der Unterschiede von Erdbeben und -Detonationen sind, so entwerfen wir uns noch ein Bild des Verlaufes der beiden Erscheinungen je eines Impulses. (Fig. 3.) Schall ist durch Längs-, Erschütterung durch Querschraffen dargestellt; die Vorboten strichliert, die Stärke durch entsprechende Dicke ausgedrückt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

So hätten wir denn nicht nur die Unterschiede und damit die Stellung beider Phänomene auf Grund hinterlegter Beobachtungen und vielfacher Erwägungen präcisiert und dieselben uns bildlich eingeprägt, sondern dabei auch wiederholt, insbe-

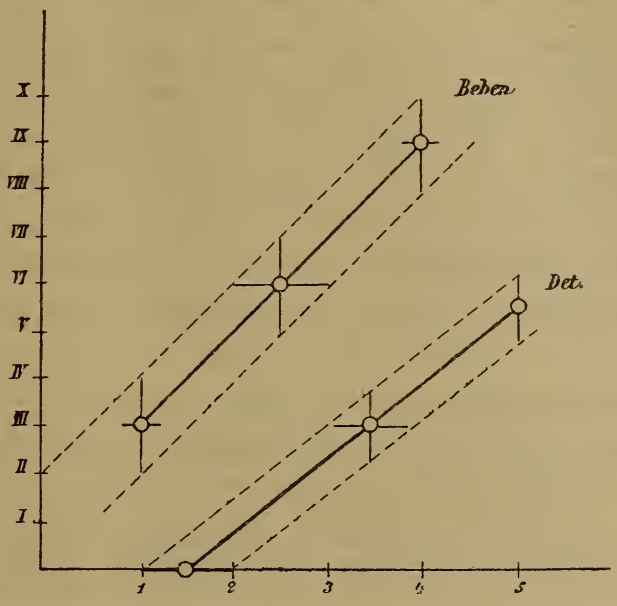

Fig. 2.

sondere hinsichtlich der Detonationen, Gelegenheit gehabt, auf die noch vorhandenen Mängel und Lücken hinzuweisen,

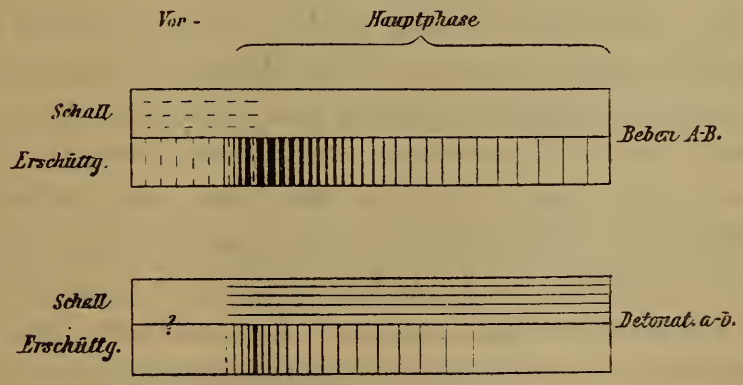

Fig. 3.

deren man sich im Augenblicke einer solchen Erscheinung bewusst sein muss, um durch seine eigenen Beobachtungen ein mitunter wertvolles Scherflein zur Erforschung des Wesens und Verlaufes dieser Phänomene beitragen zu können.

Das sollte der Hauptzweck der vorliegenden Schrift sein, zu deren Abfassung mich eine solche, verflossenen Jahres in

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Böhmen[1] wahrgenommene Erscheinung veranlasste, deren Details den Beobachtern unbekannt waren, demgemäß unmöglich richtig erfasst werden konnten.

Nicht mehr begnügt sich heute die Seismologie mit der einfachen Constatierung der rohen Thatsache, dass diese oder jene Erscheinung vernommen wurde; das gilt höchstens für peripherisch gelegene Orte zwecks genauerer Begrenzung eines Schüttergebietes; aber selbst von solchen Stellen wären genaue Wahrnehmungen, z. B. über das zeitliche Verhältnis zwischen Beben und Schall, von hohem Interesse, indem man (meiner Meinung nach unberechtigterweise) zur Ansicht neigt, dass der Schall in weiterer Entfernung der Erschütterung nachfolgt.[2]

Die feineren Unterschiede schon sollen von dem Beobachter erfasst werden; ist ihm dies in einem Falle gelungen, dann müssen die Ziele der Seismologie durch solche, wenn auch nicht häufigen Feststellungen wesentlich gefördert werden, weil man den Wert derselben mit Recht höher taxiert, als die große Masse unscharfer und einander widersprechender Angaben.

Weitere Beziehungen von Bodendetonationen zu Erdbeben.

Über solche kann heute füglich nur mit großer Reserve gesprochen werden; das statistische Material ist in dieser Beziehung noch zu wenig umfangreich und verlässlich. Sicher ist es, wie bereits mehrfach constatiert wurde, dass manchen größeren Erdbeben einige Tage vorher an dem einen oder anderen nicht weit entfernten Orte vereinzelte Detonationen vorausgiengen, nur ist es fraglich, ob beide Erscheinungen in einem ursächlichen Zusammenhange standen. Ein anderer Fall ist der bekanntlich zu Alais (Frankreich) im September 1814 beobachtete, wo dem nur 4 *m* tiefen localen Einbruche des Bodens an Stelle eines Ackers durch 24 Stunden hindurch schwache

[1] Bericht über das Detonationsphänomen im Duppauer Gebirge am 14. August 1899. Diese Sitzungsberichte, Erdbeben-Commission, Nr. XXI (Wien, 1900).

[2] In diesen Fällen handelt es sich höchstwahrscheinlich um das Nachhinken der Luftschallwellen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Detonationen vorausgiengen. In dieser Zeit muss der unsichtbare Verbruch bereits begonnen und um sich gegriffen haben, bis er sich anderentags durch das Zutagegehen auf dem Auge kundgab. Inwieweit hier eine künstliche Ursache vorliegt, bleibt dahingestellt.

Die von dem Bergmanne so gefürchteten »Pfeilerschüsse«, das sind jene infolge Spannungsauslösungen in den Kohlenpfeilern und im Hangenden eines abgebauten Flötzes bedingten Detonationen und Erschütterungen des Bodens und der Luft, deuten wohl das langsame Niederbrechen der nächsten Umgebung an, doch kommt es nur in sehr seltenen Fällen zu einem Tagverbruch. Ursache und Hauptwirkung liegt in der Grube selbst.[1]

In gewisser Hinsicht könnten daher wohl rasch folgende Detonationen als Alarmsignal einer möglich bevorstehenden Erscheinung (Verbruches) aufgefasst werden.

Auch während eines Erdbebenschwarmes wurden mitunter alleinige Detonationen geringer Intensität wahrgenommen, die wohl als Relaiserscheinungen aufzufassen sein werden.

Ursachen der Detonationen.

Mit diesen Betrachtungen wären wir unwillkürlich an die Frage nach den Detonationsursachen herangekommen. So wenig wir das Geräusch, das die Brandung des Meeres, ein reißender Fluss oder ein Wasserfall erzeugt, zu den Detona-

---

[1] Möglicherweise sind die Pfeilerschüsse mit den Detonationen und Erschütterungen verwandt, welche seit mehreren Jahrzehnten bereits im Kladnoer Reviere in allen Stärkegraden wahrgenommen werden und welche Schröckenstein mit Recht auf das Schwinden des durch die Grubenentwässerung trocken gelegten Flötzes, auf das Rissigwerden von Kohlenpartien zurückführt. Dieses Spaltenreißen kann sehr wohl detonationsbewirkend werden, ob aber diese Erregungsweise auch im großen, bei Dislocationen, zutrifft, kann, meines Erachtens, wenigstens nicht mit solcher Gewissheit behauptet werden, wie dies Prof. Woldrich in einem bestimmten Falle ausgesprochen hat. (Bericht über die unterirdische Detonation von Melnik in Böhmen am 8. April 1898. Diese Sitzungsberichte, Erdbeben-Commission, IX (Wien, 1898), S. 27. Geotektonischer Ursprung derselben: »Die der Böhmerwald- und Erzgebirgrichtung folgenden Spalten sind nämlich, wahrscheinlich infolge des bekannten tangentialen Druckes, im Sinne von E. Sueß plötzlich tiefer zersprungen«.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

tionen rechnen dürfen, indem es sich hier zwar um natürliche, aber constante Ursachen oberflächlichen Sitzes handelt, ebenso dürfen wir auch nicht das »unterirdische« Toben des Gases ansehnlicher Thermalwasserbehälter (Geysir auf Island, Sprudel in Karlsbad.....) oder sonstiger gasreicher Mineralquellen (Polterbrunn in Franzensbad) hieher gehörig betrachten. Anders verhält es sich aber mit den Gasansammlungen unter der Erdoberfläche, in der Tiefe ungefasster oder verlegter Stellen, zu deren Spannungsauslösung es oft nur eines niederen Luftdruckes oder anderer Veranlassung bedarf.[1]

Das Zustandekommen von Detonationen dürfte demnach vorzugsweise an zwei Bedingungen geknüpft sein:

1. An die Existenz von Gasansammlungen und deren plötzlichen Druckausgleiches (Explosion).

2. An das Vorhandensein von Höhlungen und ihres Einbrechens (Höhlenverbruch).

Die zweite Ursache könnte wohl logischerweise besser an die erste Stelle gesetzt werden, indes verbleiben wir schon bei den Mineralquellen.

---

[1] E. Hlawaček (Karlsbad, 12. A. 1878) führt eine Erscheinung aus diesem Jahrhundert an, die mir besonders typisch erscheint: »Interessant ist es in geologischer Beziehung, dass in einem Umfange von mehr als 60 Quadratklaftern in der Gegend dieses Säuerlings [Dorotheenau, südöstlich von Karlsbad] Ausströmungen von Kohlensäure stattfinden, namentlich auf der Wiese unterhalb desselben, wo die Ausströmung so stark ist, dass auf mehreren Stellen kein Gras wächst, und zu gewissen Zeiten, besonders bei herannahenden Gewittern des Sommers, hörten die Bewohner des Schweizerhauses wiederholt des nachts starke Detonationen; diese sollen bisweilen so stark sein, dass sich die im Stalle befindlichen Kühe losreißen, und sind gewiss die Veranlassung zu dem schon im vorigen Jahrhunderte vorhandenen Gerüchte, dass es im rothen Hause (so hieß das früher hier vorhandene Wirtschaftsgebäude) spuke; worauf hin ein früherer Besitzer sogar eine Stiftung machte, damit zur Befreiung der hier spukenden armen Seele alljährlich zwei Messen gelesen und sechs Arme mit Brot betheilt werden sollten, was sogar jetzt noch geschieht!« — Der in Rede stehende Punkt ist das südliche Ende der »Karlsbader Thermalspalte«, beziehungsweise der erste Anschnitt der Thermalzone durch den Teplfluss. Eine graslose Stelle ist noch heute zu sehen, und ebendort befindet sich seit 1885 die Fassung der Stephaniequelle, eines lauen, alkalisch-salinischen Eisensäuerlings. Die beschriebene Erscheinung gehört in geophysikalischer Hinsicht wie viele andere in die Klasse der »Stromboliphänomene«.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

1. Dass Gasansammlungen in der Tiefe auch im großen Maßstabe möglich sind, beweisen die Bohrungen nach Erdgas im Schlier u. s. w. Auch in anderen Fällen darf man nicht die Meinung hegen, dass es immer zu einem freien Entströmen von Gas (Kohlensäure, Schwefelwasserstoff) mit oder ohne Wasser an der Erdoberfläche kommen muss. Es kann eben Hohlräume, Hohlschichten und Gesteinsklüfte erfüllen, aus denen ihm der Austritt verwehrt ist; solchermaßen befindet sich dasselbe in gewisser Tiefe unter Druck, also in gespanntem Zustande. Es ergibt sich gelegentlicher Verfolgung von Mineralquelladern in der Tiefe nicht selten Gelegenheit, dergleichen in kleinerem Maßstabe zu beobachten. Oft ist nur die lettige Ausfüllung der Gesteinsklüfte das einzige Hindernis, durch dessen Entfernung es zum Ausströmen des Gases kommt. Die Bedeutung derartiger natürlicher Verlegungen darf daher nicht unterschätzt werden; sie begrenzen oft den Verlauf aus der Tiefe aufsteigender Gas- und Mineralquellen, deren Existenz, beziehungsweise ungefährdeter Bestand an einer einzigen »Lettenkluft« hängen kann. Die Möglichkeit großer Gasanhäufungen in der Tiefe muss auf alle Fälle zugestanden werden; ein allmähliches Auspuffen des Gases wird von keiner weiteren Folgeerscheinung begleitet sein. Werden die Hindernisse aber in größerem Maße (etwa durch eine Erderschütterung) plötzlich entfernt, dann wird es zu einem jähen, detonierenden Druckausgleich kommen. Dasselbe kann der Fall sein, wenn die angewachsene Spannkraft die nächste Umgebung plötzlich zu dislocieren vermag,[1] in den meisten Fällen wird es also zugleich zu einem Beben kommen, so wie wir uns überhaupt keine reine Detonationserregung vorstellen können.[2]

---

[1] Im Kohlenbergwerke von Rochebelle bei Alais explodierten am 28. Juli 1879 in einer Tiefe von 345 *m*, wie die genaue Untersuchung des Falles ergab, nicht Schlagwetter, sondern 4000 bis 5000 m^3 Kohlensäuregas, das sich infolge Zersetzung eines Kalksteinlagers durch vitriolescierende Kiese bildete und ansammelte. Es erfolgten rasch nacheinander zwei Explosionen, so dass drei Bergleute erstickten. (A. Daubrée, Les eaux souteraines aux époques anciennes et actuelles. [Paris, 1887.])

[2] d. h. insbesonders keine natürliche, allein schallerregende Ursache. Würde man in der Tiefe eines Bergwerkes intensive Glockenschläge erzeugen,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Das gilt denn auch für den Höhlenverbruch. Alle Vorkommnisse, die uns bis heute zur Kenntnis kamen und sicher als Folgeerscheinungen von Einstürzen erkannt oder aufgefasst wurden, haben sich als Detonationen mit schwächeren, schallbegleitenden Erschütterungen geäußert.[1] An der untergeordneten Stellung der Begleiterscheinung solcher localer Verbrüche, der «Einsturzbeben», kann nicht gezweifelt werden.

Das plötzliche partielle oder totale Zusammenbrechen der Decke eines Hohlraumes muss in dem ersten Stadium schon ein «Krachen» bewirken, das Aufschlagen der gelösten Gesteinspartien am Boden aber Schall und Erschütterung erzeugen. Verschiedene solche Phänomene, miteinander verglichen, ergeben, wie wir gesehen haben, relativen Einklang zwischen Schall und Erschütterung, für jedes einzelne aber überwiegt der erstere über die letzere. Wir betrachten diese Ursache daher als eine vorzugsweise detonationserregende; auch wird, wie in dem Beispiele der Fußnote, zugleich Luftdetonation erzeugt, die möglicherweise als Schallverstärkung fungiert, während das auf die Luft übertragene Maß seismischer Energie wohl auch »wiederhallt«, aber nicht zur Geltung kommt.

Die Intensitäten der Detonationen könnten im allgemeinen nur als Maßstab für die Größe der gestürzten Masse und ihrer Fallhöhe betrachtet werden, wenn der Boden der verschiedensten Höhlen stets von Detritus (Höhlenlehm u. s. w.) und Wasseransammlnngen frei wäre. Auch die Dichte, beziehungsweise Härte des den Boden bildenden Gesteins wird von Einfluss sein. Nachdem diese Voraussetzungen nicht zutreffen,

---

so möchte sich wohl nur Schall allein an die Oberfläche fortpflanzen; dabei würde er aber nicht im Boden, sondern in Luft erzeugt und dieselbe »dislociert«. Erst bei fast gänzlichem Einbauen der Glocke könnte die Luftmenge auf ein Minimum gebracht werden.

[1] Prof. R. Hoernes zweifelt aus anderen Gründen mit Recht an dem Einsturzcharakter der Erdbebenperiode von Groß-Gerau bei Darmstadt in den Jahren 1869 bis 1871 und legt ihr tektonische Ursachen zugrunde. Sicherlich gehört sie nicht zu den Einsturzbeben, wofür sie Lasaulx gehalten hat, sondern zu den Dislocationsbeben; sie bildet zu der localen Bebenperiode von Litschau in Niederösterreich 1855 bis 1858 (1860) ein Analogon.

In beiden Fällen wurden keine Detonationen wahrgenommen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

kann eine solche vergleichsweise Schätzung höchstens gelegentlicher Detonationschwärme versucht werden, wobei die Annahme zulässig wäre, dass die Erscheinungen von einer oder mehreren Höhlen ihren Ausgang nehmen, die einen analogen Bau aufweisen.

Da nun die Einsturzvorgänge vorwiegend Schallwirkungen im Gefolge haben, so gehören sie sammt der Begleiterscheinung, den »Einsturzbeben«, zu den Detonationen. Die langsamen Senkungen großer Schollen nach abwärts finden aber an Dislocationen ohne auffallendem Schall statt und sind daher den Dislocationserdbeben zuzurechnen. Eine strenge Unterscheidung, ob die unterirdischen Räume, die wir dabei voraussetzen müssen, etwa durch Auswaschungen oder durch das Weichen der Unterlage infolge activen Zuges nach abwärts[1] erzeugt worden sind, wäre wohl aus dem Grunde nicht haltbar, weil ein Nachweis diesbezüglich undurchführbar ist und höchstens das erstere in einzelnen Fällen wahrscheinlicher gemacht werden könnte.

Vulcane (mit ihren Nebenerscheinungen: den vulcanischen Beben, Thermen und Gasexhalationen), Dislocationsbeben (mit ihren Relaiswirkungen: den Folgeerschütterungen und warmer Quellen jüngster Entstehung) und Dislocationsquellen (Thermen und Gasquellen, die kaum mehr zu seismischen Regungen Anlass geben) sind es, die uns die Gebirgsstörungen bezeichnen und deren Tiefgang wir aus dem vereinten oder nur vereinzelten Auftreten dieser Phänomene ermessen können. Auf dieser Basis ist das Gebäude der Erdbebengliederung zu errichten; einem Anhange zu diesem großen, geologisch-tektonischen Schema der Erdbeben vergleichbar, aber sich quasi bewusst auch selbständige Phänomene zu sein, finden sich die Detonationen zusammen, diese Äußerungen localer, meist nur seicht liegender Ursachen.

Herr Prof. E. Suess hat in seinem großen, früher citierten Werke die von Hoernes und v. Lasaulx vorgenommene Gliederung, beziehungsweise Eintheilung der Erdbeben »die ersten, gleichsam tastenden Versuche, um die vielgestaltige

[1] E. Sueß, Das Antlitz der Erde, I. (Wien, 1892.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Menge von Erscheinungen zu theilen und womöglich näher zu erfassen» genannt.

Wenn auch die vorliegenden Erörterungen nicht höher zu taxieren sein werden, so glaubte ich doch durch Einbeziehung der Detonationen in den Kreis der Betrachtungen der fernliegenden Wahrheit einen Schritt näher gekommen zu sein und damit ein Scherflein beigetragen zu haben zum Aufbau der Erdbebenkunde oder besser gesagt der Lehre von den seismisch-akustischen Phänomenen der Litho- und Hydrosphäre.

Karlsbad, Juni 1900.